

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. August 2005 (25.08.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/078841 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01M 8/04, 8/24**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2005/000041

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. Februar 2005 (10.02.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
A 216/2004 12. Februar 2004 (12.02.2004) AT  
A 268/2004 19. Februar 2004 (19.02.2004) AT  
A 832/2004 13. Mai 2004 (13.05.2004) AT

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): AVL LIST GMBH [AT/AT]; Hans-List-Platz 1, A-8020 GRAZ (AT).

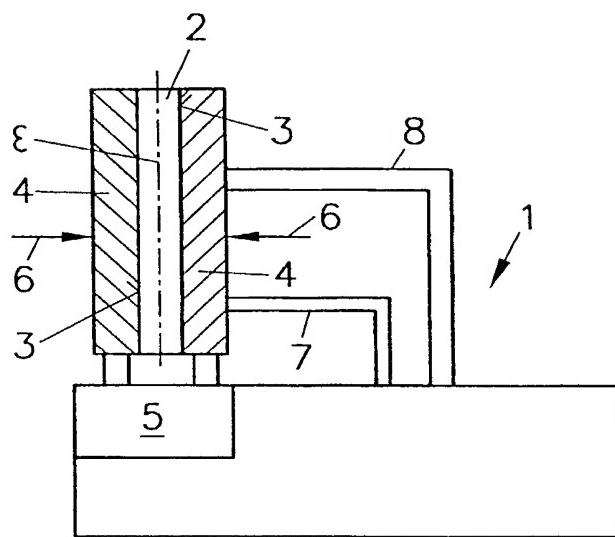
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): THANNER, Herbert [AT/AT]; Plabutscherstrasse 123d/ii/15, A-8020 GRAZ (AT). SCHÜSSLER, Martin [AT/AT]; Berthold-Linder-Weg 18/5, A-8047 GRAZ (AT).

(74) Anwalt: BABELUK, Michael; Mariahilfer Gürtel 39/17, A-1150 WIEN (AT).

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR DETERMINING THE OPERATING PARAMETERS OF INDIVIDUAL CELLS OR SHORT STACKS OF FUEL CELLS

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON BETRIEBSPARAMETERN VON EINZELZELLEN ODER KURZSTACKS VON BRENNSTOFFZELLEN



(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for determining the operating parameters of individual cells (2) or short stacks (10) of fuel cells, preferably of medium-temperature or high-temperature fuel cells.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung von Betriebsparametern von Einzelzellen (2) oder Kurzstacks (10) von Brennstoffzellen, vorzugsweise von Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen.

WO 2005/078841 A2

## **Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung von Betriebsparametern von Einzelzellen oder Kurzstacks von Brennstoffzellen**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung von Betriebsparametern von Einzelzellen oder Kurzstacks von Brennstoffzellen, vorzugsweise von Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen. Beispielsweise werden die Betriebsparameter von Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) oder von Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (MCFC) bestimmt.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Kühlung heißer Prozessgase, die im Betrieb von Brennstoffzellen oder bei der Prüfung von Brennstoffzellen-Systemkomponenten, wie beispielsweise Reformer, Misch- und Konditioniersysteme oder Katalysatoren, in einem Brennstoffzellenprüfstand anfallen.

Weiters betrifft die Erfindung einen Brennstoffzellenstapel aus Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen, welche zur Kompensation des inneren Betriebsdruckes und/oder zur Abdichtung der einzelnen Brennstoffzellen gegeneinander verspannte, auf die beiden Endbereiche des Brennstoffzellenstapels wirkende Spannelemente aufweisen.

Vorrichtungen und Verfahren zur Bestimmung von Einzelzellen oder kurzen Zellstapeln dienen zur Charakterisierung und Überprüfung von Brennstoffzellen beispielsweise in deren Abhängigkeit von der Temperaturverteilung über der Zelloberfläche.

Einzelzellen und Kurzstacks von z.B. Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) müssen in der Entwicklung und ggf. auch in der Qualitätssicherung bezüglich ihrer Betriebs-eigenschaften vermessen werden. Diese Prüf- und Qualitätssicherungsverfahren werden zur Gewährleistung einer hohen und gleichmäßigen Umgebungstemperatur bisher in einem Ofen durchgeführt in welcher Temperaturen im Bereich von 300°C bis 1000°C aufrecht erhalten kann.

Die Temperaturverteilung in der Ebene der Zelloberfläche wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Bei der SOFC sind dies vor allem die Strömungsorientierung von Anode zu Kathode (cross-, co-, counter-flow) und der interne Umsatz der Reformierungsreaktion auf der Anodenseite, sowie der Volumenstrom und die Eintrittstemperatur der Kühlluft. Weiters beeinflusst natürlich die Gestaltung der Strömungsfelder ("flow field design") die Temperaturverteilung.

Die zu lösenden Probleme stellen sich wie folgt dar:

- Die bei der Überprüfung der Einzelzelle ermittelten Daten sollen möglichst direkt auf die Eigenschaften eines ganzen Brennstoffzellenstapels bzw. Brennstoffzellenstack schließen lassen. Ein Ofen kann die ungleichen Temperaturverteilung über der Zellfläche, die im Stack vor und hinter der untersuchten Zelle folgen würden, nur durch eine konstante Temperatur simulieren.
- Weiters ist keine gezielte Einstellung von Temperaturverteilungen möglich, um zum Beispiel den Einfluss anderer Temperaturverteilungen auf die Zelleigenschaften (elektrische Leistung, Lebensdauer bzw. Standzeit, etc.) zu untersuchen.
- Wegen der mit einem schlechten Wirkungsgrad behafteten Wärmeübertragung der erhitzten Ofenluft zum Brennstoffzellenstack bzw. der Einzelzelle im Ofen sind die Heizleistungen begrenzt. Somit ist nur ein langsames Aufheizen möglich.
- Die bei der Aufheizung einer SOFC aus vielen Einzelzellen entstehenden Gradienten können nicht realistisch abgebildet, d.h. der Einzelzelle aufgeprägt werden.
- Parameter für Simulationsmodelle müssen aus experimentellen Betriebsdaten abgeleitet werden, die bei einer ungleichen und schlecht messbaren Temperaturverteilung bestimmt werden.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es, ausgehend von Vorrichtungen und einem Verfahren zur Messung von Betriebsparametern von Einzelzellen oder Kurzstacks von Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen der eingangs beschriebenen Art, Verbesserungen derart vorzuschlagen, dass die in einem Brennstoffzellenstack herrschenden Temperaturverhältnisse für Entwicklungs- und Qualitätssicherungszwecke besser simuliert werden können.

An Brennstoffzellenprüfständen (BZPS) müssen die Prozessgase hinsichtlich der thermodynamischen Kenngrößen (Druck, Temperatur, Volumenstrom) aber auch hinsichtlich der Gaszusammensetzung konditioniert werden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe einer Gasmischstation (= eine Kombination mehrerer Mass Flow Controller) und elektrischer Heizer bzw. Wärmetauscher realisiert werden. Die Gasströme für Anode und Kathode werden dabei bis zu Temperaturen von ca. 800°C vorgewärmt bevor diese den Brennstoffzellenkomponenten (z.B. Reformer oder Stack) zugeführt werden. Entsprechend der chemischen bzw. elektrochemischen Reaktion in den Brennstoffzellenkomponenten können die Gastemperaturen am Austritt der jeweiligen Komponente ansteigen oder aber auch absinken. In den meisten Fällen ist aber eine zusätzliche Kühlvorrichtung für die Prozessgase erforderlich, bevor diese in den Prüfstandsabzug geleitet werden können.

(Explosionsgefahr!). Zusätzlich ist eine entsprechende Verdünnung – deutlich unterhalb der Explosionsgrenze – der Prozessgase im Abzug erforderlich.

Brennstoffzellen-Stacks werden üblicherweise mit Hilfe einer elektronischen Last elektrisch belastet. Die dabei entstehende Wärme muss ebenso abgeführt werden. Marktübliche Geräte werden dabei luft- oder wassergekühlt angeboten.

Schließlich entsteht durch die chemischen und elektrochemischen Reaktionen in einem Brennstoffzellen-Stack Wärme, welche ebenso aus dieser Komponente mit Hilfe einer Kühlvorrichtung abgeführt werden muss.

Aus diesem Grund ist für Brennstoffzellenprüfstände ein externer Kühlwasseranschluss erforderlich. Ein externer Kühlwasserkreislauf bewirkt jedoch einen beträchtlichen Mehraufwand für die jeweilige Laborinfrastruktur.

Aus der DE 199 13 795 C1 ist eine Vorrichtung mit einer Brennkraftmaschine und einem Brennstoffzellensystem bekannt, wobei das Brennstoffzellenaggregat die elektrischen Verbraucher des Fahrzeuges mit elektrischer Energie versorgt. Der für den Betrieb der Brennkraftmaschine und des Brennstoffzellensystems erforderlicher Aufwand wird dadurch reduziert, dass bei beiden Aggregaten eine Reihe von Bauteilen wie Kühler, Abgasanlage und Luftfilter gemeinsam genutzt werden. Weiters kann das Brennstoffzellensystem von den Abgasen aufgeheizt werden, die von der Brennkraftmaschine erzeugt werden.

Eine zweite Aufgabe der Erfindung ist es nun, eine Vorrichtung bzw. ein Verfahren zur Kühlung heißer Prozessgase, die im Betrieb von Brennstoffzellen oder bei der Prüfung von Brennstoffzellen-Systemkomponenten, wie beispielsweise Reformer, Misch- und Konditioniersysteme oder Katalysatoren, in einem Brennstoffzellenprüfstand anfallen, derart zu verbessern, dass auf einen externen Kühlwasseranschluss verzichtet werden kann.

Bei Brennstoffzellen müssen zur Kompensation des inneren Betriebsdrucks und/oder und zur Abdichtung einzelner Zellen und/oder zur Gewährleistung guter elektrischer Kontakte der Zwischenplatten/Bipolarplatten mit den Elektroden Kräfte auf den Zellstapel ausgeübt werden. Diese Kräfte werden in bekannten Brennstoffzellenanordnungen über das Brennstoffzellen-Gehäuse oder über gesonderte Spannvorrichtungen aufgebracht.

Die Festigkeitswerte von Spannvorrichtungen sind allerdings bei Temperaturen über 300°C wesentlich geringer, sodass relativ hohe Massen zur Aufbringung der mechanischen Kräfte notwendig sind. Bei Temperaturen über 600°C, die bei Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) oder Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (MCFC)

vorliegen, sind zudem spezielle metallische Werkstoffe einzusetzen, die teuer sind.

Die thermischen Ausdehnung der Brennstoffzelle beim Hochfahren muss im Spannmechanismus berücksichtigt werden, wobei an der Brennstoffzelle anliegende Ausgleichselemente verwendet werden. Im Betrieb ergibt sich dabei eine inhomogene Temperaturverteilung, weil die Spannvorrichtung und allfällige Ausgleichselemente wie ein Kühlblech wirken.

Bei herkömmlichen Brennstoffzellenanordnungen verzögert die Spannvorrichtung mit ihrer Wärmekapazität den Start und sorgt für eine inhomogene Temperaturverteilung während des Starts. Bei häufigen Kaltstarts geht die Aufheizung solcher Zusatzmassen signifikant in den Kraftstoffverbrauch ein.

Aus der WO 03/028141 A2 ist beispielsweise eine Festoxid-Brennstoffzelle bekannt, welche aus einem Stapel von Einzelzellen besteht, die mit Hilfe einer Spannvorrichtung aus einer Grundplatte und einer Spannplatte gegeneinander verspannt sind. Zwischen der Spannplatte und dem Brennstoffzellenstapel ist ein Faltenbalg aus mehreren Balgelementen angeordnet, welcher die thermische Ausdehnung der Brennstoffzellen beim Hochfahren kompensiert. Der Faltenbalg besteht aus einer hitzebeständigen Metalllegierung und ist mit einem Gas, beispielsweise Luft unter Atmosphärendruck oder einem Inertgas mit höherem Druck, gefüllt. Nachteiligerweise ergibt sich beim Betrieb des Brennstoffzellenstapels eine inhomogene Temperaturverteilung, da die Grundplatte der Spannvorrichtung und der metallische Faltenbalg die Wärme aus den angrenzenden Brennstoffzellen ableiten und eine unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass der Start der Brennstoffzelle bzw. das Erreichen der optimalen Betriebsparameter aufgrund der Wärmekapazität der Spannvorrichtung verzögert wird.

Eine dritte Aufgabe der Erfindung ist es, ausgehend von einem Brennstoffzellenstapel mit einer Spannvorrichtung der eingangs beschriebenen Art, Verbesserungen vorzuschlagen, die für eine homogener Temperaturverteilung während der Startphase sorgen und die Verwendung leichter, billiger Materialien für die Spannvorrichtung zulassen.

Die erste Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass parallel zur Brennstoffzellen-Ebene an eine oder bevorzugt an beide Außenflächen der Einzelzelle oder des Kurzstacks flächige Heizelemente angepresst werden, sowie dass über die Heizelemente eine vorgebbare Temperatur  $T_H$  für die Brennstoffzelle eingestellt und zumindest ein Betriebsparameter der Brennstoffzelle in Abhängigkeit der eingestellten Temperatur gemessen wird. In Abhängigkeit der Temperatur  $T_H$  oder des zeitlichen Verlaufs von  $T_H$  können beispielsweise Parameter wie die Tem-

peratur, Strom- und Spannungswerte, die Zusammensetzung der Prozessgase, der Prozessgasdruck oder aber auch die Lebensdauer der Brennstoffzelle oder einzelner Bestandteile der Brennstoffzelle bestimmt werden.

Die oben angeführten Probleme können somit durch direkt oder über eine Zwischenschicht an der Einzelzelle anliegende Heizplatten gelöst werden, wobei die Heizplatten flächig aufgepresst werden, um die zum Betrieb der Zelle notwendige Spannkraft auf die Zelle zu leiten. Damit kann ein zeitlicher Temperaturverlauf bzw. Temperaturgradient vorgegeben werden, mit welchem unterschiedliche Betriebszustände der Brennstoffzelle, wie Start, Lastwechsel oder Dauerbetrieb, simuliert werden können.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann durch eine Unterteilung der flächigen Heizelemente in einzelne, separat ansteuerbare Segmente eine flächige Temperaturverteilung bzw. ein flächiger Temperaturgradient vorgegeben werden.

So können einerseits vorgebbare Temperaturfelder im Prüfling generiert werden, oder andererseits die Temperaturverteilung eingestellt werden, die sich in einem großen Zellverbund ergeben würde.

Damit können Eigenschaften eines ganzen Brennstoffzellen-Stapels an einer Einzelzelle gemessen werden. Hierzu muss die sich im Betrieb des Stapels bildende Temperaturverteilung (die sogenannte intrinsische Temperaturverteilung) gefunden und von außen simuliert werden.

Beispielsweise kann erfindungsgemäß die Temperatur  $T_z$  in der Brennstoffzelle und die Temperatur  $T_h$  im Heizelement oder in den einzelnen Heizelementsegmenten gemessen und die Temperatur  $T_h$  im Heizelement derart geregelt werden, dass die Heizleistung einer angrenzenden Nachbarzelle simuliert wird.

Dazu wird bei konstanten, realistischen Betriebsbedingungen (bekannten Gas-eintrittstemperaturen, konstanten Anoden- und Kathoden-Stöchiometrien, konstantem elektrischem Strom) die Temperatur  $T_h$  im Heizelementsegment variiert. Es ergibt sich ein Temperaturverlauf  $T_z$ , mit welchem die intrinsische Temperatur  $T_i$  bestimmt werden kann (siehe detaillierte Beschreibung zu Fig. 8).

Um extreme Temperaturgradienten zu erzeugen, kann die Temperatur  $T_z$  der Brennstoffzelle zusätzlich durch Anbringen und Entfernen von äußeren Isolier-elementen oder durch aktive Kühlelemente eingestellt oder variiert werden.

Erfindungsgemäß kann weiters durch eine zyklische Ausprägung extremer zeitlicher und/oder flächiger Temperaturgradienten ein beschleunigter Alterungsprozess der Brennstoffzelle simuliert werden. Auf diese Weise können in kurzen Ver-suchsläufen rasch Schwachstellen einer neuen Entwicklung aufgedeckt werden.

Weiters kann auf die Lebensdauer bzw. Standzeit im Normalbetrieb der Brennstoffzelle geschlossen werden.

Schließlich können durch Simulationsmodelle oder Modellrechnungen bestimmte elektrochemische Parameter der Brennstoffzelle mit den gemessenen Werten für diese Parameter verglichen und die Simulationsmodelle entsprechend angepasst werden. Hierzu kann zum Beispiel der Brennstoffzelle ein komplett isothermer Betrieb aufgeprägt werden, so dass die gemessenen Parameter (z.B. reaktionskinetische Größen) einer Temperatur zugeordnet werden können.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass parallel zur Brennstoffzellen-Ebene an einer oder bevorzugt an beiden Außenflächen der Einzelzelle oder des Kurzstacks flächige Heizelemente angeordnet sind, welche mit einer Steuer- und Auswerteinrichtung zur Einstellung einer vorgebbaren Temperatur verbunden sind.

Erfindungsgemäß wird die zweite Aufgabe dadurch gelöst, dass die heißen Prozessgase zumindest einer Wärmetauschereinheit zugeführt werden, um die Temperatur im Prozessgas vor dem Eintritt in eine Abzugeinrichtung des Prüfstandes abzusenken, sowie dass die Abwärme der Wärmetauschereinheit mit der in die Abzugeinrichtung einströmenden Umgebungsluft abgeführt wird.

Eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass im heißen Prozessgasstrom zumindest ein Wärmetauscher angeordnet ist, welcher die Eintrittstemperatur des Prozessgases vor dem Eintritt in eine Abzugeinrichtung absenkt, sowie dass eine Einrichtung zur Kühlung des Wärmetauschers mit Hilfe der in die Abzugeinrichtung einströmenden Umgebungsluft vorgesehen ist.

Beispielsweise kann eine Kühlereinheit in eine Abzughalbe (Esse) integriert sein, welche sich unmittelbar oberhalb bzw. auf dem Brennstoffzellenprüfstand befindet, und diese Kühlereinheit mit dem Wärmetauscher der Prozessgase und/oder einer elektronischen Last und/oder einem Wärmetauscher zur Kühlung einer Brennstoffzellen-Komponente mit einem zirkulierenden Kühlmittel in Verbindung gebracht werden (= Primärkühlkreis). Die Kühlereinheit in der Esse wird dabei durch den Volumenstrom der Lüftungsanlage gekühlt (= Sekundärkühlkreis). Voraussetzung dabei ist, dass der Volumenstrom der Lüftungsanlage wesentlich größer ist als der Volumenstrom der zu kühlenden Prozessgase.

Die dritte Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zwischen den Endbereichen des Brennstoffzellenstapels und dem jeweils zugeordneten Spannlement ein die Spannkraft übertragendes, thermisches Isolierelement angeord-

net ist. Insbesondere weisen auch die Seitenbereiche des Brennstoffzellenstapels eine von den Spannelementen freigestellte Außenisolierung auf.

Die eingangs erwähnten Probleme werden somit durch eine Verlagerung der Spannvorrichtung außerhalb einer thermischen Isolation gelöst, d.h. das Spannen erfolgt im kalten Bereich. Dadurch können leichte und billige Werkstoffe verwendet werden, welche zum Hochfahren der Brennstoffzellen nicht mit aufgeheizt werden müssen.

Erfindungsgemäß werden die beiden endseitigen Isolierelemente von der Außenisolierung des Stapsels seitlich umfasst, sodass ein im Wesentlichen geschlossener, thermisch isolierter Raum gebildet wird, in welchem außer den Brennstoffzellen weitere Brennstoffzellenkomponenten, wie zum Beispiel Hochtemperaturwärmetauscher, Reformer und/oder Brenner, angeordnet sein können. Damit wird - wie bei der Brennstoffzelle selbst - die Masse der heißen Bauteile reduziert, die mechanische Festigkeit für Dichtkräfte oder Betriebsdruckkompensation aufbringen müssen. Dichtkräfte können zum Beispiel an den Schnittstellen der einzelnen Komponenten zur Überführung der Prozessgase notwendig sein.

Heiße Gase führende Rohre haben keinen mechanischen Kontakt zum Spannmechanismus, da zumindest eines der endseitigen, thermischen Isolierelemente Öffnungen für den Durchtritt von Zu- und Ableitungen für die Prozessgase zum Betrieb der Brennstoffzellen aufweist.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die Spannelemente mit Hilfe von Spannschrauben gegeneinander verspannt, wobei zumindest ein Spannlement durch Federelemente vorgespannt ist, die außerhalb der Isolierung für den Brennstoffzellenstapel angeordnet sind. Die thermische Ausdehnung des Stapsels kann im Kalten weniger aufwendig und teuer (z.B. durch einfache Spiralfedern) kompensiert werden.

Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass die Spannvorrichtung den gesamten Aufbau umfasst und ein mechanisches Gerüst bildet, das ein Gehäuse ersetzt und multifunktional z.B. auch als Befestigungsplattform für elektrische Schnittstellen und Sensorik- Schnittstellen dienen kann.

Erfindungsgemäß können die thermischen Isolierelemente und ggf. die Außenisolierung aus einem porösen keramischen Material, beispielsweise aus gebundener pyrogener Kieselsäure (im Wesentlichen  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), oder aus einer im Wesentlichen druckfesten, metallischen Gitter- oder Gerüststruktur mit schlechter Wärmeleitung (ggf. in Kombination mit Vakuumisolation) bestehen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine erfindungsgemäße Messvorrichtung für eine Einzelzelle einer SOFC in einer Schnittdarstellung;
- Fig. 2 eine Ausführungsvariante der Messvorrichtung in einer Schnittdarstellung gemäß Fig. 1;
- Fig. 3 eine weitere Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Messvorrichtung in einer Schnittdarstellung;
- Fig. 4 die Messvorrichtung gemäß Fig. 3 in einer Schrägansicht;
- Fig. 5 eine weiter Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Messvorrichtung in einer Schnittdarstellung;
- Fig. 6 die Messvorrichtung gemäß Fig. 5 in einer Schrägansicht;
- Fig. 7 eine weiter Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Messvorrichtung in einer Schnittdarstellung;
- Fig. 8 ein Diagramm mit einer sich anhand von realistischen Materialwerten ergebenden Temperaturkurve;
- Fig. 9 eine Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Kühlung heißer Prozessgase, die beim Betrieb von Brennstoffzellen anfallen;
- Fig. 10 eine Subvariante der Ausführung gemäß Fig. 9;
- Fig. 11 und Fig. 12 Varianten der Vorrichtung zur Kühlung heißer Prozessgase die bei der Prüfung eines Reformers bzw. der Prüfung eines Misch- und Konditioniersystems für Brennstoffzellen anfallen;
- Fig. 13 einen erfindungsgemäßen Brennstoffzellenstapel in einem Längsschnitt; sowie
- Fig. 14 eine Ausführungsvariante des Brennstoffzellenstapels in einer Schnittdarstellung gemäß Fig. 13.

Fig. 1 zeigt eine Messvorrichtung 1 für Einzelzellen 2 von Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen, vorzugsweise von Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) oder von Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (MCFC). Zur Simulation eines vorgebaren Temperaturverlaufs sind parallel zur Brennstoffzellen-Ebene  $\varepsilon$  an einer oder

bevorzugt an beiden Außenflächen 3 der Einzelzelle 2 flächige Heizelemente 4 angeordnet, welche mit einer Steuer- und Auswerteeinrichtung 5 zur Einstellung und Regelung einer vorgebbaren Temperatur verbunden sind.

Zum Anpressen der Heizelemente 4 an die Außenflächen 3 der Einzelzelle 2 ist eine in Fig. 1 nur schematisch angedeutete Spannvorrichtung 6 vorgesehen. Mit 7 und 8 sind die Zu- bzw. Ablaufleitungen für die Prozessgase gekennzeichnet.

Wie in der Ausführungsvariante gemäß Fig. 2 dargestellt, kann jedes der Heizelemente 4 in mehrere, separat ansteuerbare Segmente 4a, 4b, bzw. 4a', 4b' unterteilt sein, um einen flächigen bzw. örtlichen Temperaturgradienten erzeugen zu können. Dargestellt ist hier ein aus zwei Einzelzellen 2 bestehender Kurzstack 10.

Bei der in den Fig. 3 und Fig. 4 dargestellten Ausführungsvariante sind in der Einzelzelle 2 und in den Heizelementen 4 Temperatursensoren 9, 9' im Wesentlichen übereinander angeordnet, welche mit einem Regelkreis in der Steuer- und Auswerteeinrichtung 5 verbunden sind. Weiters weisen die Heizelemente 4 äußere, thermische Isolierelemente 11 an der Oberseite und an der Unterseite sowie Isolierelemente 11' an den Seitenflächen auf, welche einzeln abnehmbar sind, sodass unterschiedliche Temperaturgradienten erzeugt werden können. Zwischen dem Heizelement 4 und der Oberfläche der Einzelzelle 2 können auch Übertragungselemente (nicht dargestellt) eingeschoben sein, die den Anpressdruck verteilen oder den Wärmestrom gezielt in Teilflächen der Einzelzelle 2 einleiten. Um den Wärmestrom in oder aus der Brennstoffzelle exakter messen zu können, kann auch eine dünne, thermisch isolierende Zwischenschicht 14 zwischen Heizelement 4 und Brennstoffzelle angebracht sein. So entstehen für einen gegebenen Wärmestrom höhere und damit besser messbare Temperaturunterschiede an den Messpunkten der Temperatursensoren 9, 9'. Zusätzlich zu den Temperatursensoren 9, 9' oder anstelle der Temperatursensoren können auch Wärmeflusssensoren angeordnet sein. Mit 15 und 16 sind diverse elektrische Anschlüsse für den Brennstoffzellenstrom und die Heizelemente bezeichnet.

Bei der in den Fig. 5 und Fig. 6 dargestellten Ausführungsvariante der Messvorrichtung 1 ist jedes der Heizelemente 4 in mehrere, separat ansteuerbare Segmente 4a, 4b, 4c und 4d bzw. 4a', 4b', 4c' und 4d' unterteilt. Die äußere Isolierung 11 bzw. 11' ist zur besseren Übersicht abgenommen, kann jedoch auch entsprechend segmentiert sein. Weiters kann zwischen den an einer Außenfläche 3 der Einzelzelle 2 angeordneten Heizelementsegmenten 4a, 4b, 4c, und 4d bzw. 4a', 4b', 4c', und 4d' jeweils ein thermische Isolierelemente 13 angeordnet sein. Die einzelnen Segmente sind dadurch zueinander thermisch isoliert und beeinflussen sich gegenseitig nicht.

Es ist weiters möglich in die äußeren Isolierelementen 11, 11' (siehe Fig. 3) und/oder in die zwischen den Heizelementsegmenten 4a bis 4d' angeordneten Isolierelemente 13 (siehe Fig. 5) aktive Kühléléments 12, beispielsweise Wärmetauscher für ein Kühlmedium, einzubauen. Die Wärmeabfuhr nach außen für jedes Segment 4a bis 4d' kann daher entweder durch Verändern der thermischen Isolation 11, 11' oder/und durch aktive Kühlung von außen modifiziert werden.

Die nicht im Detail dargestellten Gasanschlüsse, die elektrische Kontaktierung und die Temperatur-Messung der Einzelzellen 2 kann über Anpressen an die begrenzenden Schichten der Einzelzelle, die sogenannten Interkonnektoren, erfolgen. (Die Interkonnektoren sind eine elektrisch leitende gasdichte Schichten, die Kathodengase von den Anodengasen der nächsten Zelle im Zellverbund trennen.) Durch die äußere mechanische Kraft (Spannmechanismus gemäß Fig. 3 oder Fig. 4) können Dichtungen komprimiert werden, die die Gasanschlüsse Abdichten. Ebenfalls mit Hilfe der äußeren Kraft kann die elektrische Kontaktierung zur Stromabführung oder zur Messung der Zellspannung realisiert werden. Auch Temperatursensoren können so an die Zelle angepresst werden.

Strom und Spannung der Brennstoffzelle können, wie die Temperatur, an flächig verteilten Stellen der Interkonnektoren gemessen bzw. abgenommen werden. Bei sehr dünnen Interkonnektoren (Dicke < 1mm) oder solchen mit einer niedrigen elektrischen Leitfähigkeit ist es meist unverzichtbar, den Strom über der Brennstoffzellenfläche an mehreren Stellen flächig abzunehmen. Ansonsten würden sich große ohmsche Leitungsverluste beim Durchströmen der dünnen Interkonnektoren ergeben, die die Messergebnisse verfälschen. Für den Fall schlecht leitfähiger Interkonnektoren wird in den bisher beschriebenen Aufbau (siehe Fig. 5) in der isolierenden Zwischenschicht 14 ein Stromsammler 17 mit flächig verteilten Kontaktstellen angeordnet. Eine derartige Ausführungsvariante ist in Fig. 7 beschrieben.

Diese Stromsammler 17 können in mehrere separat kontaktierbare Segmente 17a, 17b, 17a', 17b' unterteilt sein und somit z.B. eine den Heizelementen 4a bis 4b' entsprechende Segmentierung aufweisen.

So ist eine nach Segmenten aufgelöste Strom- und Spannungsmessung möglich. Darüber hinaus können den einzelnen Segmenten Ströme aufgeprägt werden und zugehörige elektrische Diagnoseverfahren wie Impedanz-Spektroskopie durchgeführt werden.

Gemäß Diagramm in Fig. 8 wird die Temperatur  $T_H$  im Heizelementsegment variiert. Es ergibt sich der dargestellte Temperaturverlauf  $T_Z$  in der Einzelzelle. Bei jener  $T_H$ , wo  $T_Z$  bei steigendem  $T_H$  von  $T_Z > T_H$  zu  $T_Z < T_H$  übergeht, kann die intrinsische Temperatur  $T_i$  bestimmt werden.

Nach Bestimmung von  $T_i$  ist zusätzlich eine Kompensation der Wärmeleitung in den Interkonnektoren und ggf. vorhandenen Stromsammlern 17 gemäß Fig. 7 erforderlich. Die Einzelzelle 2 wird durch zwei Interkonnektoren begrenzt. In einem realen Zellstapel wären nur zwei halbe Interkonnektoren der Einzelzelle zuordnen, weil die angrenzenden Zellen diese Interkonnektoren ebenfalls verwenden. Daher muss die Wärmeleitung, die durch einen der beiden Interkonnektoren erfolgt, kompensiert werden. Auch die ggf. vorhandenen Stromsammler tragen zur planaren Wärmeleitung bei. Ihr Einfluß auf  $T_i$  muß ebenfalls rechnerisch ermittelt werden. In die Kompensationsrechnung gehen also die gemessenen  $T_i$  in den Segmenten und die Wärmeleitung durch die beschriebenen zusätzlichen Komponenten ein. Ergebnis der Kompensationsrechnung sind  $T_i$  (berechnet), die sich im realen Zellverbund einstellen würden.

Um die Zelle bei der realen intrinsischen Temperaturverteilung zu betreiben sind die in der Kompensationsrechnung ermittelten Temperaturen mithilfe der Heizelemente der Zelle aufzuprägen.

Neben der direkteren Übertragung der Einzelzellen-Messergebnisse auf die Verhältnisse im Brennstoffzellenstack ergeben sich somit folgende wertvolle Untersuchungsmöglichkeiten an Einzelzellen und kurzen Zellstapeln:

- Simulationsmodelle für SOFC-Brennstoffzellen können umfassend validiert werden, indem zum Beispiel verschiedene Temperaturverteilungen aufgeprägt und die sich ergebenden elektrochemischen Eigenschaften mit den Simulationsergebnissen verglichen werden.
- Transiente Vorgänge und insbesondere der Start kann realistisch nachgebildet werden.
- Die minimal erreichbare Startzeit bei weitgehend gradientenfreier Aufheizung kann untersucht werden.
- Durch die zyklische Aufprägung von extremen Gradienten können beschleunigte Alterungsversuche definiert und durchgeführt werden.

Fig. 9 zeigt in einer ersten Ausführungsvariante der Erfindung einen Brennstoffzellenprüfstand 101 mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Kühlung heißer Prozessgase, die beim Betrieb einer Brennstoffzelle oder eines Brennstoffzellen-Stacks 102 anfallen. Die primären Prozessgase für den Betrieb der Brennstoffzelle werden von einer Misch- und Konditioniereinheit 103 mit einstellbaren Werten für Druck, Temperatur und Gaszusammensetzung zur Verfügung gestellt, wobei separate elektrische Heizeinrichtungen 104 für den Brennstoff F und das Oxidationsmittel O, beispielsweise Luft, vorgesehen sind. Sowohl an der Anodenseite A als auch an der Kathodenseite K der Brennstoffzelle 102 sind in den hei-

Ben Prozessgasströmen 105 jeweils Wärmetauscher 106 angeordnet, welche die Eintrittstemperatur  $t_K'$  bzw.  $t_A'$  der Prozessgase in die Abzugeinrichtung 107 des Prüfstandes 1 im Vergleich zu den Austrittstemperaturen  $t_K$  bzw.  $t_A$  aus der Brennstoffzelle wirksam absenken (Beispiel für die Temperaturverhältnisse anführen). Die Abzugeinrichtung 107 weist eine Abzugaube bzw. Esse 108 auf, sowie eine Ventilator- oder Saugeeinrichtung 109, mit welcher die Prozessgase mit Hilfe der im Überschuss einströmenden Umgebungs- bzw. Laborluft 110 verdünnt und abgeführt werden. Die Ventilator- bzw. Saugeeinrichtung 109 kann durch die Laborentlüftung realisiert sein, mehrere Prüfstände zusammenfassen und auch weiter entfernt von den einzelnen Abzugauben angeordnet sein.

Weiters ist es von Vorteil, wenn die Abgase der Abzugeinrichtung einer Wärmerückgewinnung (nicht dargestellt) zugeführt werden. Die rückgewonnene Abwärme kann zur Temperierung der Laborzuluft oder auch zur Vorwärmung der Prozessgase am Prüfstand verwendet werden.

Bei der Ausführungsvariante gemäß Fig. 9 sind die Wärmetauscher 106 als Kühlmittel/Gas-Wärmetauscher ausgeführt und über einen Kühlmittelkreislauf 111 mit einer in der Abzugshaube 108 angeordneten Kühleinheit 112 verbunden. Das im Kühlmittelkreislauf 111 zirkulierende Kühlmittel, beispielsweise Wasser, transportiert die Abwärme der Wärmetauscher 106 in die Kühleinheit 112, welche durch die mit der Temperatur  $t_0$  einströmende Umgebungsluft 110 gekühlt wird. Durch diese Maßnahme gelangen die Prozessgasströme gekühlt und verdünnt in die Abzugseinrichtung, so dass die Abfuhr der Prozessgase ohne Explosionsgefahr gewährleistet ist. Eine an der Brennstoffzelle angeschlossene elektrische Last 117 oder eine andere zu kühlende Brennstoffzellenkomponente kann über einen Kühlkreislauf 118 (strichpunktiert angedeutet) mit der Kühleinheit 112 für die Wärmetauscher 106 oder einer separaten Kühleinheit 112' in der Abzugeinrichtung 107 verbunden sein.

Bei der in Fig. 10 dargestellten Ausführungsvariante sind die beiden Wärmetauscher 106' als Luft/Gas-Wärmetauscher ausgeführt, welche platzsparend in der Abzugshaube der 108 der Abzugseinrichtung 107 angeordnet sind und direkt von der in die Abzugseinrichtung einströmenden Umgebungsluft 110 gekühlt werden.

Die Ausführungsvariante gemäß Fig. 11 zeigt den Prüfbetrieb eines Reformers 113, welchem aus der Misch- und Konditioniereinheit 103 die erforderlichen Mengen an Brennstoff F und Luft O in einer einstellbaren Konditionierung zugeführt werden. Das aus dem Reformer 113 mit einer Temperatur  $t$  austretende, heiße Reformat wird im Luft/Gas-Wärmetauscher 106' in der Abzugaube 108 auf eine Temperatur  $t'$  abgekühlt und durch die Abzugeinrichtung 107 gefahrlos abgeführt.

Schließlich kann – wie in Fig. 12 dargestellt – die Misch- und Konditioniereinheit 103 selbst einer Überprüfung unterzogen werden. Die beiden entsprechend konditionierten primären Prozessgasströme (Luft und Brennstoff) werden den Wärmetauschern 106 zugeführt, welche wie in der Ausführung gemäß Fig. 9 über einen Kühlmittelkreislauf 111 mit einer Kühlereinheit 112 in Verbindung stehen. Das Kühlmittel wird mit einer Pumpe 116 umgewälzt.

Bei allen Ausführungsvarianten kann in der Abzugseinrichtung 107 ein Katalysator 114 in Strömungsrichtung vor oder nach der Kühlereinheit 112 bzw. des Wärmetauschers 106' angeordnet sein. Von Vorteil ist weiters die Anbringung eines Kondensat- bzw. Wasserabscheiders 115 ausgangsseitig der Abzugeinrichtung 107.

Der in Fig. 13 dargestellte Brennstoffzellenstapel 201 besteht aus Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen 202, beispielsweise Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) oder Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (MCFC), welche zur Kompensation des inneren Betriebesdruckes, zur Abdichtung der einzelnen Brennstoffzellen 202 und zur Herstellung guter elektrischer Kontakte der Zwischenplatten bzw. Bipolarplatten mit den Elektroden, mit Hilfe einer Spannvorrichtung 203 gegenüber einander verspannt sind, so dass auf den Brennstoffzellenstapel 201 eine durch die Pfeile 204 angedeutete Spannkraft ausgeübt wird. Die Spannvorrichtung 203 weist zwei Spannelemente 205 auf, welche mit Hilfe von Spannschrauben 206 gegeneinander verspannt sind.

Die gesamte Spannvorrichtung 203 befindet sich außerhalb der thermischen Isolation des Brennstoffzellenstapels 201, wobei zwischen den Endbereichen 207 des Staples 201 und den jeweils zugeordneten Spannelementen 205 ein im Wesentlichen druckfestes, thermisches Isolierelement 208 angeordnet ist, welches bei den auftretenden Druck- und Temperaturwerten plastische und elastische Verformungen im Bereich von 5% bis 10% aufweist. Die von der Spannvorrichtung 203 aufgebrachte Spannkraft (Pfeile 204 senkrecht zur Brennstoffzellen-Zellebene) wird somit von den Isolierelementen 208 auf den Brennstoffzellenstapel 201 übertragen, so dass für die im kalten Bereich liegende Spannvorrichtung billige, leichte Materialien wie beispielsweise Aluminium oder Aluminiumlegierungen verwendet werden können. Die Seitenbereiche 209 des Brennstoffzellenstapels 201 weisen eine Außenisolierung 210 auf, welche keine Druckkräfte der Spannvorrichtung 203 aufnimmt (siehe Spalt zwischen den Spannelementen 205 und der Außenisolierung 210) und zusammen mit den endseitigen Isolierelementen 208 einen im Wesentlichen geschlossenen Raum bildet. Für die Außenisolierung 210 benötigt man daher ein hochtemperaturfestes, jedoch nicht unbedingt druckfestes Material. Die Außenisolierung 210 ist mehrteilig ausgeführt

(z.B. zwei Halbschalen bei einem zylindrischen Brennstoffzellenstapel) und kann ohne Entfernung der Spannvorrichtung 203 demontiert werden.

Wie in Fig. 13 schematisch dargestellt, weist zumindest eines der endseitigen thermischen Isolierelemente 208 Öffnungen 211 für den Durchtritt von Zu- und Ableitungen 212, 213 für die Zufuhr bzw. Abfuhr der für den Betrieb der Brennstoffzellen 202 benötigten Prozessgase auf.

Die thermische Ausdehnung der Brennstoffzellen 202 sowie ggf. die Deformation der Isolierelemente 208 beim Hochfahren wird dadurch kompensiert, dass zumindest ein Spannelement 205 durch Federelemente, beispielsweise Spiralfedern 214 vorgespannt ist, die außerhalb der Isolierung 208, 210 für den Brennstoffzellenstapel 201 angeordnet sind.

Die Spannvorrichtung 203 umfasst den gesamten Aufbau und bildet ein mechanisches Gerüst, das die Funktion eines Gehäuses übernimmt und als Befestigungsplattform für elektrische Anschlüsse 215 bzw. als Sensorschnittstelle dienen kann.

Fig. 14 zeigt eine Ausführungsvariante, bei welcher innerhalb der Spannvorrichtung 203 in einem Raumes, der durch die endseitigen Isolierelemente 208 und die Außenisolierung 210 gebildet ist, neben den Brennstoffzellen 202 weitere Brennstoffzellenkomponenten, beispielsweise ein Hochtemperaturwärmetauscher 216 und ein Reformer und/oder Brenner 217, angeordnet sind, deren Schnittstellen 218 zur Weiterleitung der Prozessgase von der Spannvorrichtung 203 zusammengepresst werden.

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Bestimmung von Betriebsparametern von Einzelzellen oder Kurzstacks von Brennstoffzellen, vorzugsweise von Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen, **dadurch gekennzeichnet**, dass parallel zur Brennstoffzellen-Ebene an eine oder bevorzugt an beide Außenflächen der Einzelzelle oder des Kurzstacks flächige Heizelemente angepresst werden, sowie dass über die Heizelemente eine vorgebbare Temperatur  $T_H$  für die Brennstoffzelle eingestellt und zumindest ein Betriebsparameter der Brennstoffzelle in Abhängigkeit der eingestellten Temperatur  $T_H$ , gemessen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein zeitlicher Temperaturverlauf bzw. Temperaturgradient vorgegeben wird, mit welchem unterschiedliche Betriebszustände der Brennstoffzelle, wie Start, Lastwechsel oder Dauerbetrieb, simuliert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch eine Unterteilung der flächigen Heizelemente in einzelne, separat ansteuerbare Segmente eine flächige Temperaturverteilung bzw. ein flächiger Temperaturgradient vorgegeben wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch eine zyklische Ausprägung extremer zeitlicher und/oder flächiger Temperaturgradienten ein beschleunigter Alterungsprozess der Brennstoffzelle simuliert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch Simulationsmodelle oder Modellrechnungen bestimmte elektrochemische Parameter der Brennstoffzelle mit den gemessenen Werten für diese Parameter verglichen und die Simulationsmodelle entsprechend angepasst werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur  $T_z$  in der Brennstoffzelle und die Temperatur  $T_H$  im Heizelement oder in den einzelnen Heizelementsegmenten gemessen und die Temperatur  $T_H$  im Heizelement derart geregelt werden, dass die Heizleistung einer angrenzenden Nachbarzelle simuliert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur  $T_z$  der Brennstoffzelle zusätzlich durch Anbringen und Entfernen von äußeren Isolierelementen oder durch aktive Kühlelemente eingestellt oder variiert wird.

8. Vorrichtung (1) zur Bestimmung von Betriebsparametern von Einzelzellen (2) oder Kurzstacks (10) von Brennstoffzellen, vorzugsweise von Mittel- oder Hochtemperaturbrennstoffzellen, **dadurch gekennzeichnet**, dass parallel zur Brennstoffzellen-Ebene ( $\epsilon$ ) an einer oder bevorzugt an beiden Außenflächen (3) der Einzelzelle (2) oder des Kurzstacks (10) flächige Heizelemente (4) angeordnet sind, welche mit einer Steuer- und Auswerteeinrichtung (5) zur Einstellung einer vorgebbaren Temperatur verbunden sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in jeder Einzelzelle (2) und in den Heizelementen (4) Temperatursensoren (9, 9') angeordnet sind, welche mit einem Regelkreis in der Steuer- und Auswerteeinrichtung (5) verbunden sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes der Heizelemente (4) in mehrere, separat ansteuerbare Segmente (4a, 4b, 4c, ...) unterteilt ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Heizelemente (4) oder deren Segmente (4a, 4b, 4c, ...) abnehmbare, äußere Isolierelemente (11, 11') aufweisen.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den an einer Außenfläche (3) der Einzelzelle (2) angeordneten Heizelementsegmenten (4a, 4b, 4c, ...) thermische Isolierelemente (13) angeordnet sind.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die äußeren Isolierelemente (11, 11') und/oder die zwischen den Heizelementsegmenten (4a, 4b, 4c, ...) angeordneten Isolierelemente (13) aktive Kühlelemente (12), beispielsweise Wärmetauscher für ein Kühlmedium, aufweisen.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Außenflächen (3) der Einzelzelle (2) und den Heizelementen (4) oder Heizelementsegmenten (4a, 4b, 4c, ...) eine dünne thermisch isolierende Zwischenschicht (14) angeordnet ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der isolierenden Zwischenschicht (14) ein Stromsammel (17) mit flächig verteilten Kontaktstellen angeordnet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stromsammler (17) in mehrere, separat kontaktierbare Segmente (17a, 17b, 17a', 17b') unterteilt ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Anpressen der Heizelemente (4) an die Außenflächen (3) der Einzelzelle (2) oder des Kurzstacks (10) und/oder der äußeren Isolierelemente (11) und/oder der thermisch isolierenden Zwischenschicht (14) eine Spannvorrichtung (6) vorgesehen ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der dichtende Anschluss der Gasanschlüsse und die elektrischen Anschlüsse der Einzelzelle (2) oder des Kurzstacks (10) mit Hilfe des Anpressdruckes der Spannvorrichtung (6) hergestellt sind.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Auswerteeinrichtung (5) Mittel zur Bestimmung zumindest der Temperatur, der Strom- und Spannungswerte, der Zusammensetzung der Prozessgase, des Prozessgasdruckes oder der Lebensdauer der Brennstoffzelle aufweist.
20. Verfahren zur Kühlung heißer Prozessgase, die im Betrieb von Brennstoffzellen oder bei der Prüfung von Brennstoffzellen-Systemkomponenten, wie beispielsweise Reformer, Misch- und Konditioniersysteme oder Katalysatoren, in einem Brennstoffzellenprüfstand anfallen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die heißen Prozessgase zumindest einer Wärmetauscher-Einheit zugeführt werden, um die Temperatur im Prozessgas vor dem Eintritt in eine Abzugeinrichtung des Prüfstandes abzusenken, sowie dass die Abwärme der Wärmetauscher-Einheit mit der in die Abzugeinrichtung einströmenden Umgebungsluft abgeführt wird.
21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmetauscher-Einheit als Luft/Gas-Wärmetauscher ausgeführt ist und direkt von der in die Abzugeinrichtung einströmenden Umgebungsluft gekühlt wird.
22. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmetauscher-Einheit als Kühlmittel/Gas-Wärmetauscher ausgeführt ist und dass eine vom Kühlmittel durchströmte Kühlereinheit von der in die Abzugeinrichtung einströmenden Umgebungsluft gekühlt wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umgebungsluft zur Verdünnung der Prozessgase im Überschuss zugeführt wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abgase der Abzugeinrichtung einer Wärmerückgewinnung zugeführt werden.
25. Vorrichtung zur Kühlung heißer Prozessgase, die im Betrieb von Brennstoffzellen (102) oder bei der Prüfung von Brennstoffzellen-Systemkomponenten, wie beispielsweise Reformer (113), Misch- und Konditioniersysteme (103) oder Katalysatoren, in einem Brennstoffzellenprüfstand (101) anfallen, **dadurch gekennzeichnet**, dass im heißen Prozessgasstrom (105) zumindest ein Wärmetauscher (106, 106') angeordnet ist, welcher die Eintrittstemperatur des Prozessgases vor dem Eintritt in eine Abzugeinrichtung (107) absenkt, sowie dass eine Einrichtung zur Kühlung des Wärmetauschers mit Hilfe der in die Abzugeinrichtung (107) einströmenden Umgebungsluft (110) vorgesehen ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmetauscher als Luft/Gas-Wärmetauscher (106') ausgeführt ist, welcher in oder eingangsseitig einer Abzugaube (108) der Abzugeinrichtung (107) angeordnet ist.
27. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmetauscher als Kühlmittel/Gas-Wärmetauscher (106) ausgeführt ist, welcher mit einer in der Abzugeinrichtung (107) angeordneten Kühlereinheit (112) über ein in einem Kühlmittelkreislauf (111) zirkulierendes Kühlmittel in Verbindung steht.
28. Vorrichtung nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine an der Brennstoffzelle (102) angeschlossene elektrische Last (117) oder eine zu kühlende Brennstoffzellenkomponente über einen Kühlkreislauf (118) mit einer Kühlereinheit (112, 112') in der Abzugeinrichtung (107) verbunden ist.
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Abzugeinrichtung (107) ein Katalysator (114) und/oder ein Kondensat- bzw. Wasserabscheider (115) angeordnet ist.
30. Brennstoffzellenstapel (201) aus Mittel- oder Hochtemperurbrennstoffzellen, welche zur Kompensation des inneren Betriebsdruckes und/oder zur Abdichtung der einzelnen Brennstoffzellen (202) gegeneinander ver-

spannte, auf die beiden Endbereiche (207) des Brennstoffzellenstapels (201) wirkende Spannelemente (205) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Endbereichen (207) des Brennstoffzellenstapels (201) und dem jeweils zugeordneten Spannlement (205) ein die Spannkraft übertragendes, thermisches Isolierelement (208) angeordnet ist.

31. Brennstoffzellenstapel (201) nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Seitenbereiche (209) des Brennstoffzellenstapels (201) eine von den Spannlementen (205) freigestellte Außenisolierung (210) aufweisen.
32. Brennstoffzellenstapel (201) nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Außenisolierung (210) des Staps (201) die beiden endseitigen Isolierelemente (208) seitlich umfasst.
33. Brennstoffzellenstapel (201) nach einem der Ansprüche 30 bis 32, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eines der endseitigen thermischen Isolierelemente (208) Öffnungen (211) für den Durchtritt von Zu- und Ableitungen (212, 213) für die Prozessgase zum Betrieb der Brennstoffzellen (202) aufweist.
34. Brennstoffzellenstapel (201) nach einem der Ansprüche 31 bis 33, **dadurch gekennzeichnet**, dass innerhalb eines durch die endseitigen Isolierelemente (208) und der Außenisolierung (210) gebildeten Raumes weitere Brennstoffzellenkomponenten, wie zum Beispiel Hochtemperaturwärmetauscher (216), Reformer (217) und/oder Brenner, angeordnet sind.
35. Brennstoffzellenstapel (201) nach einem der Ansprüche 30 bis 34, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spannlemente (205) mit Hilfe von Spannschrauben (206) gegeneinander verspannt sind, wobei zumindest ein Spannlement (205) durch Federelemente (214), vorzugsweise Spiralfedern, vorgespannt ist, die außerhalb der Isolierung (208, 210) für den Brennstoffzellenstapel (201) angeordnet sind.
36. Brennstoffzellenstapel (201) nach einem der Ansprüche 30 bis 35, **dadurch gekennzeichnet**, dass die thermischen Isolierelemente (208) und ggf. die Außenisolierung (210) aus einem porösen keramischen Material, beispielsweise aus gebundener pyrogener Kieselsäure, bestehen.
37. Brennstoffzellenstapel (201) nach einem der Ansprüche 30 bis 35, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Wesentlichen druckfesten, thermischen Isolierelemente (208) aus einer metallischen Gitter- oder Stützstruktur bestehen.

38. Brennstoffzellenstapel (201) nach einem der Ansprüche 35 bis 37, **da-durch gekennzeichnet**, dass die Spannelemente (205) und die Spannschrauben (6) ein mechanisches Gerüst bilden, welches die Funktion eines Gehäuses übernimmt und als Schnittstelle (215) für elektrische Anschlüsse dient.
39. Brennstoffzellenstapel (201) nach einem der Ansprüche 30 bis 38, **da-durch gekennzeichnet**, dass der Brennstoffzellenstapel (201) Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) oder Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (MCFC) aufweist.